4Г

УДК 541.61/.614+612.82

И.Г. Герасимов
Институт проблем искусственного интеллекта МОН Украины и НАН Украины, г. Донецк
Украина, 83048, г. Донецк, ул. Артема, 118- б

Оценка функционального состояния и прогнозирование поведения биологических систем

I.G. Gerasimov
Institute of Artificial Intelligence MES of Ukraine and NAS of Ukraine, c. Donetsk
Ukraine, 83048, c. Donetsk, Artema st., 118-b

Estimation of Functional Station and Prediction of Behavior Biological Systems

І.Г. Герасімов
Інститут проблем штучного інтелекту МОН України і НАН України, м. Донецьк
Україна, 83048, м. Донецьк, вул. Артема 118-б

Оцінювання функціонального стану і прогнозування поведінки біологічних систем

В работе обсуждается общий подход к оценке функционального состояния живых систем в плане последующего прогнозирования их поведения (эволюции). Предлагаемый алгоритм может быть реализован применительно к индивидуальным организмам, включая организм человека, сообществам и популяциям живых организмов, а также к системам экологическим и социальным.
Ключевые слова: параметры функционирования, биологические системы, свертка, функция состояния.

In work general approach is discussed to estimation of functional condition live systems in plan of following forecasting their behavior (evolutions). The proposed algorithm can be marketed with reference to the individual organism, including organism of man, community and population live organism, as well as to system ecological and social.
Key words: parameters of operation, biological systems, folding, function of condition.

У роботі обговорюється загальний підхід до оцінювання функціонального стану живих систем у плані послідуючого прогнозування їх поведінки (еволюції). Алгоритм, який запропонований, може бути реалізований стосовно до індивідуальних організмів, включаючи організм людини, суспільств і популяцій живих організмів, а також до систем екологічних та соціальних.
Ключові слова: параметри функціонування, біологічні системи, згортка, функція стану.

В настоящее время в связи постоянно и, порой, резко меняющимися условиями внешней среды, природной, экологической и демографической ситуацией, оценка функционального состояния биологических (живых) систем, включая индивидуальные особи (в частности, организм человека), сообщества, популяции, экологические и социальные системы, с целью прогнозирования их поведения приобретает особую актуальность [1]. Несмотря на множество специфических аспектов проблемы можно попытаться обосновать некий принципиально общий алгоритм оценки функционального состояния таких систем. Что именно следует понимать под «функциональным

состоянием», в частности человека, является предметом специального обсуждения [2]. В контексте данной работы этим термином будем называть любое состояние живой системы, позволяющее ей выполнять жизненные функции, включая патологическое развитие, то есть попросту функционировать. Поведение же системы представляет собой ее эволюцию во времени, что проявляется в динамике или изменении (или постоянстве) значений показателей, характеризующих ее функциональное состояние.

С такой точки зрения оценка функционального состояния представляет собой ряд нетривиальных задач. **Именно разработка некоторых общих подходов к решению подобного рода задач обсуждается в предлагаемой вниманию работе.**

Прежде всего, отметим, что оценка функционального состояния предполагает нахождение ряда показателей, характеризующих систему. Эти показатели могут быть получены в результате различного рода наблюдений и измерений и представлены в одной из трех (или двух из них, или во всех) шкалах, которые назовем в порядке возрастания их оценивающей силы: номинальная, ранговая и шкала отношений. Номинальная шкала позволяет отнести показатель к какому-либо признаку (например, пол, профессия и т.д.). Ранговая шкала дает возможность градировать тот или иной признак (например, указать, что A < B < C), но не оценить во сколько раз или на какую величину один признак превосходит другой (меньше другого). Последнее возможно при использовании шкалы отношений, когда значения показателей измеряются численно. Так или иначе имеется набор из N показателей ($p_i, i = 1,...,n$), характеризующих систему, или ее функциональное состояние.

Далее из полученного набора необходимо отобрать относительно независимые показатели, то есть показатели, являющиеся достаточными для описания функционального состояния системы. Иными словами, из числа N следует исключить сильно коррелирующие между собой показатели. При этом следует учесть, что корреляционный анализ возможен как в параметрической шкале (шкала отношений), так и в непараметрической шкале (ранговая шкала). В первом случае для оценки силы корреляций обычно используется коэффициент парной линейной корреляции Пирсона, во втором – коэффициент ранговой корреляции Спирмана [3]. Проведение корреляционного анализа по данным, полученным в номинальной шкале, вообще невозможно, и такие данные могут быть полезны в дальнейшем при формировании логических операторов. Вместе с тем существует возможность проведения корреляционного анализа между показателями, значения которых измерены по шкале отношений, с одной стороны, и в ранговой шкале, с другой. Для этого необходимо и достаточно перевести значения из шкалы отношений в ранговую шкалу, то есть определенным образом ранжировать номинальные данные, и затем воспользоваться коэффициентом ранговой корреляции Спирмана. Подобная возможность существует всегда, но стандартные «рецепты» ее реализации (стандартные методы ранжирование) отсутствуют. Кроме того, обратим внимание на то, что корреляционный анализ требует предварительной подготовки исходных данных, таких как, например, выбраковка случайных или нехарактерных значений (фильтрация) из исходной выборки [4]. Еще один важный вопрос, какие именно значения коэффициентов корреляций следует считать сильными. Обычно полагают, что сильные коэффициенты корреляций $r \geq 0,95$, однако с этим можно согласиться лишь в случае физических, химических или физико-химических исследований. В биологии (и в медицине) следует обращать внимание на коэффициенты корреляций $r \geq 0,75$ и уж во всяком случае, рассматривать как сильные корреляции с $r \geq 0,90$.

Для последующего описания функционального состояния системы из пары и большего число сильно коррелирующих между собой показателей выбирается одни. При этом следует руководствоваться, в первую очередь, экономическими соображениями, то есть затратами финансовых и иных средств, необходимых для проведения измерений. В результате выбора остается *M* показателей ($p_j, j = 1,...,m$), причем $M < N$.

На следующем этапе не только полезно, но и необходимо произвести свертку нескольких показателей, или получить параметр (интегральный показатель) состояния (факторов). Таких параметров может быть несколько и каждый из них может включать в себя от одного до m показателей. Суть свертки заключается в том, что находят математическое описание функции нескольких аргументов (в нашем случае, показателей из числа *M*), причем каждый из них может входить в интегральный показатель не единожды. С другой стороны, не обязательно все измеренные показатели окажутся полезными для получения интегрального показателя. В результате определяется *K* ($K < M$) факторов ($f_S, s = 1,...,k$), подлежащих дальнейшему исследованию, и, по сути, подобные операции представляют собой различные варианты факторного анализа [5]. Заметим, однако, что при формировании интегральных показателей нужно оставаться в реалиях физического мира, например, не складывать килограммы и метры или не вычитать из часов градусы. Вообще формирование интегральных показателей – это искусство, зависящее, помимо всего прочего, от опыта и вкуса исследователя.

Заключительным этапом оценки функционального состояния является нахождение функции состояния $F_t = \phi(f_S)$, посредством которой в дальнейшем можно попытаться прогнозировать поведение системы во времени *t*. Как и в случае интегрального показателя, не обязательно все полученные на предыдущем этапе анализа факторы f_s окажутся полезными для формирования искомой функции. Строго говоря, функция F_t может быть не единственной, подходящей для описания поведения данной биологической системы. Подобных функций может оказаться несколько, и желательно проанализировать каждую из них на адекватность описания с ее помощью функционального состояния. При этом следует учитывать контекст исследования, а также экономические и временные затраты на получение показателей, входящих в функцию состояния. Поиск вида функции состояния F_t – наиболее творческая задача изо всех упомянутых. Решение этой задачи – важнейший шаг на пути к достижению цели: прогнозирование поведения системы. Однако прежде необходимо получить значения F_t при разных значениях *t*, после чего построить модель поведения $P_t = \phi[F_t(t)]$. Выбор модели поведения системы – также задача нетривиальная. Впрочем, для ее решения можно предложить несколько более-менее стандартных процедур. Как не трудно видеть, $F_t(t)$ представляет собой временной ряд. По такой причине, для ее описания следует воспользоваться средствами анализа временных рядов, каковыми являются, в частности, проведение вейвлет-преобразований [6], оценка приближенной энтропии ApEn [7] или фрактальной размерности [8]. Интересно также построение фазовых портретов временного ряда [9], представляющих собой графики зависимостей второй производной функции F_t по времени от первой ее производной по времени (d^2F_t/dt^2 от dF_t/dt), то есть зависимости ускорения изменения интегрального показателя от скорости его изменения. Все эти и многие другие приемы позволяют выявить закономерности поведения живых систем во времени.

Функция же описания поведения системы во времени $P_t = \phi[F_t(t)]$ может быть получена, например, с использованием регрессионных моделей разных видов [10],

путем применения операторов (в том числе, логических) [11] и/или их комбинаций. Не следует забывать при этом о возможности такой модели как лог-регрессионная. В некоторых специальных случаях, когда поведение системы трудно или даже невозможно формализовать с биологических и социальных позиций, полезным может оказаться применение «биоматематических» методов описания (нейронные сети, генетический, муравьиный и подобные им алгоритмы).

Адекватность функции описания временного поведения системы $P_t = \phi\left[F_t(t)\right]$ поведению реальной системы необходимо проверить на обучающих выборках. При этом прогностическая точность модели явно зависит от продолжительности времени, затраченного на получение исходных данных (измерение показателей во времени), то есть размеров обучающей выборки (чем больше *t*, тем при прочих равных точнее прогноз). Кроме того, точность прогноза зависит также от скорости изменения функции $P_t = \phi\left[F_t(t)\right]$ (чем меньше скорость, тем в общем случае лучше прогноз). Так или иначе, посредством подходящей функции описания временного поведения живой системы можно прогнозировать ее состояние при протекании различных процессов как в самой системе, так и в окружающей среде.

Таким образом, в работе намечен общий подход к оценке функционального состояния живых систем в плане последующего прогнозирования их поведения (эволюции). Данный подход может быть применен к индивидуальным организмам, включая организм человека, сообществам и популяциям живых организмов, а также к системам экологическим и социальным.

Литература

1. Пианка Э. Эволюционная экология / Пианка Э. – М. : Мир, 1981. – 399 с
2. Герасимов И.Г. Проблема понятия «Функциональное состояние» в современной физиологии / И.Г. Герасимов // Успехи физиол. наук. – 2011. – Т. 42, № 2. – С. 90-96.
3. Гмурман В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика / В.Е. Гмурман. – М. : Высш. шк., 2004. – 479 с.
4. Дидэ Э. (рук.) Методы анализа данных / Дидэ Э. – М. : Финансы и статистика, 1985. – 357 с.
5. Иберла К. Факторный анализ / Иберла К. – М. : Статистика, 1980. – 398 с.
6. Дебеши И. Десять лекций по вейвлетам / Дебеши И. – Ижевск : РХД, 2001. – 464 с.
7. Pincus S.M**.** Quantifying complexity and regularity of neurobiological systems / S.M**.** Pincus // Meth. Neurosci. – 1995. – V. 28, № 2. – P. 336-363.
8. Федер Е. Фракталы / Федер Е. – М. : Мир, 1991. – 254 с.
9. Рубин А.Б. Кинетика биологических процессов / [А.Б. Рубин и др.]. – Изд-во Моск. ун-та, 1977. – 330 с.
10. Дрейпер Н. Прикладной регрессионный анализ. Множественная регрессия / Н. Дрейпер , Г. Смит. – М. : Диалектика, 2007. – 912 с.
11. Пригожин И. От существующего к возникающему / Пригожин И. – М. : Наука, 1985.– 328 с.

Literatura

1. Pianka E. Evolutionary ecology. – M. : World, 1981. – 399 p.
2. Gerasimov I.G. Problem of the notion «Functional condition» in modern physiology // Successes fiziol. nauk. – 2011. – V. 42, № 2. – P. 90-96.
3. Gmurman V.E. Theory of chances and mathematical statistic. – M. : Vyssh. shk., 2004. – 479 p.
4. Dide E. (the hands.) Methods of the analysis data. – M. : Finance and statistics, 1985. – 357 p.
5. Iberla K. Factorial analysis / Iberla K. – M. : Statistics, 1980. – 398 s.
6. Debeshi I. Ten lectures on wavelates / I. Debeshi. – Izhevsk : RHD, 2001. – 464 p.
7. Pincus. S.M. Quantifying complexity and regularity of neurobiological systems // Meth. Neurosci. – 1995. – V. 28, № 2. – P. 336-363.
8. Feder E. Fractals. – M. : World, 1991. – 254 s.

9. Ruby A.B., Pytieva N.F., Riznichenko YU. Kinetics of biological processes. – Publish Mosk. Univ, 1977. – 330 p.
10. Dreyper N. Smith Applied регрессионный analysis. Multiple regression. – M. : Dialectics, 2007. – 912 p.
11. Prigozhin I. From existing to emergent. – M. : Science, 1985. – 328 p.

RESUME

I.G. Gerasimov

Estimation of Functional Station and Prediction of Behavior Biological Systems

In work general approach is discussed to estimation of functional condition biological (live) systems in plan of following forecasting of their behaviour (evolutions).

They are considered ways of reduction number measured factors, necessary and sufficient for description of functional condition live systems, and reception of the integral factor (furl).

Operating the live systems at time is discussed in term of temporary row that allows correct to approach choice prognostics to functions of their behaviour under different condition internal and external ambience.

The proposed algorithm can be marketed with reference to individual organism, including organism of the person, community and population live organism, as well as to system ecological and social.

Статья поступила в редакцию 04.07.2013.